



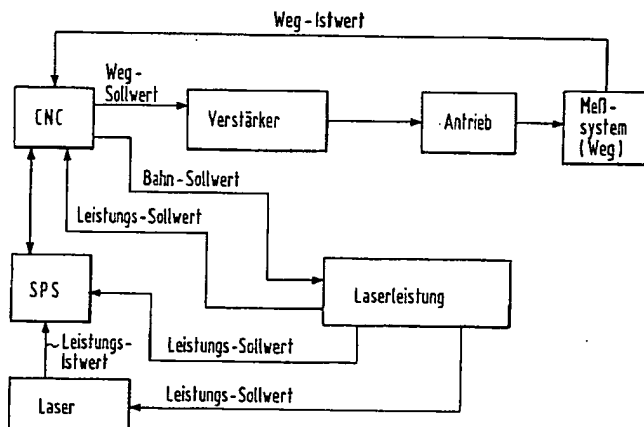
71 Anmelder:  
K.H. Arnold Maschinenfabrik GmbH & Co. KG,  
88214 Ravensburg, DE  
74 Vertreter:  
HOFFMANN · EITL, 81925 München

72 Erfinder:  
Quitow, Arne, 88212 Ravensburg, DE  
56 Entgegenhaltungen:  
DE 38 44 727 C2  
Barthel, Klaus: "Nahtverfolgungssystem für das  
Laserstrahlschweißen", in: BLECH ROHRE PROFILE  
42 (1995), Heft 5, S. 336-337;

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

- 54 Verfahren zur numerischen Steuerung einer Werkzeugmaschine mit variabler Strahlleistung zur Strahlbearbeitung und zugehörige Werkzeugmaschine
- 57 Gemäß der Erfindung wird ein Verfahren zur numerischen Steuerung einer mit variabler Leistung arbeitenden Werkzeugmaschine zur Strahlbearbeitung, insbesondere zum Laserstrahlschweißen, von Werkstücken, bzw. eine entsprechende numerisch gesteuerte Werkzeugmaschine zur Verfügung gestellt, bei welchen die Strahlleistung in Abhängigkeit von der Position auf einer vorgegebenen Bahn des Strahls gesteuert wird.



Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur numerischen Steuerung einer mit variabler Strahlleistung arbeitenden Werkzeugmaschine zur Strahlbearbeitung, insbesondere zum Laserstrahlschweißen, von Werkstücken, und betrifft weiterhin eine entsprechende numerisch gesteuerte Werkzeugmaschine.

Bei derartigen Verfahren bzw. Werkzeugmaschinen gibt es bislang beim Laserstrahlschweißen im wesentlichen zwei Vorgehensweisen, nämlich Laserstrahlschweißen mit konstanter Laserleistung (Laserausgangsleistung) und variabler Vorschubgeschwindigkeit der Werkzeugmaschine, oder aber mit variabler Laserstrahlleistung und variabler Vorschubgeschwindigkeit, wobei im letztgenannten Fall die Laserstrahlleistung zeitabhängig gesteuert wird, durch ein von einer speicherprogrammierbaren Steuerung (SPS) ausgegebenes Signal.

Bei derartigen Vorgehensweisen ist eine Schweißnaht hoher Güte nur mit sehr hohem Optimierungsaufwand erzielbar, da die Laserstrahlleistung zeitabhängig gesteuert wird, der Vorschub des Laserstrahls als Werkzeug jedoch bahnabhängig.

Wenn ein Werkstück mit an sich konstanter Laserleistung geschweißt wird, so ist es bereits bekannt, mit einem verringerten Wert der Laserleistung zu beginnen, und dann die Laserleistung auf einen bestimmten Maximalwert zu steigern, um den eigentlichen Schweißvorgang durchzuführen, wobei gegen Ende des Schweißvorgangs, also wenn das Ende der herzustellenden Schweißnaht erreicht wird, die Laserleistung wieder reduziert wird. Die Reduzierung der Laserleistung kann in Form einer Rampe erfolgen, und dient da zu, am Ende der Schweißnaht einen sogenannten Endkrater zu vermeiden, der bei einer abrupten (von 100 auf 0%) Absenkung der Laserleistung auftreten kann. Eine andere Vorgehensweise zur Vermeidung eines Endkraters besteht darin, gegen Ende des Schweißvorgangs die Vorschubgeschwindigkeit zu erhöhen.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren und eine entsprechende Vorrichtung für numerisch gesteuerte Strahlbearbeitung, z. B. Laserstrahlbearbeitung, zur Verfügung zu stellen, bei welchen eine bessere Abstimmung der Laserleistung und der Bahn erzielt wird.

Der Erfindung liegt die Erkenntnis zugrunde, daß bislang aufgrund der mit unterschiedlichen Zeitverzögerungen erfolgenden Verarbeitung von Signalen aus einem NC-Programm und entsprechender zeitabhängigen Steuerung der Strahlleistung und der positions- oder bahnabhängigen Steuerung des Werkzeugmaschinenvorschubs keine zufriedenstellende Synchronisation zwischen der Strahlleistung und dem Werkzeugmaschinenvorschub vorhanden war.

Die Aufgabe wird durch ein Verfahren gemäß Patentanspruch 1 bzw. eine Werkzeugmaschine gemäß Patentanspruch 11 gelöst. Vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung sind in den abhängigen Patentansprüchen angegeben.

Bei dem erfindungsgemäßen Verfahren zur numerischen Steuerung einer mit variabler Strahlleistung arbeitenden Werkzeugmaschine zur Strahlbearbeitung, insbesondere zum Laserstrahlschweißen, von Werkstücken wird die Strahlleistung in Abhängigkeit von der Position auf einer vorgegebenen Bahn des Strahls gesteuert.

Entsprechend wird bei der erfindungsgemäßen, numerisch gesteuerten Werkzeugmaschine zur Strahlbearbeitung von Werkstücken, welche eine numerische Steuerung und eine Strahlquelle mit variabler Leistung aufweist, eine derart ausgebildete numerische Steuerung eingesetzt, welche die Leistung des Strahls in Abhängigkeit von der Position des Strahls auf einer vorgegebenen Bahn steuert.

Gemäß der Erfindung wird daher von der bislang eingesetzten, von sich ändernden Zeiten abhängigen Steuerung der Strahlleistung abgewichen und die Strahlleistung ortsabhängig, mit anderen Worten positions- oder bahnabhängig gesteuert. Hierdurch läßt sich eine erheblich bessere Synchronisation mit dem ohnehin ortsabhängig arbeitenden Vorschub der Werkzeugmaschine erreichen und daher eine erheblich bessere Qualität der Strahlbearbeitung.

Die vorliegende Erfindung ist bei einer Vielzahl verschiedener Laserstrahlbearbeitungen einsetzbar, insbesondere beim Laserstrahlschweißen, aber auch beim Härten, Umschmelzen, Legieren von Werkstücken mittels Laserstrahlung.

Darüber hinaus läßt sich die Erfindung ebenso gut einsetzen, wenn statt einer Bearbeitung mit einem Laserstrahl eine Bearbeitung mit einem Elektronenstrahl vorgenommen wird.

Die Erfindung wird nachstehend anhand zeichnerisch dargestellter Ausführungsbeispiele näher erläutert, aus denen weitere Vorteile und Merkmale hervorgehen. Es zeigt

Fig. 1 ein schematisches Blockschaltbild einer CNC-Werkzeugmaschine mit Laserstrahlquelle gemäß der vorliegenden Erfindung;

Fig. 2 ein schematisches Blockschaltbild einer CNC-Werkzeugmaschine mit Laserstrahlquelle nach dem Stand der Technik; und

Fig. 3 eine Gegenüberstellung eines Geschwindigkeits/Zeitdiagramms zur Vorschubsteuerung einer Werkzeugmaschine und eines Leistungs/Zeitdiagramms zur Leistungssteuerung eines Laserstrahls gemäß der Erfindung.

Nachstehend wird die vorliegende Erfindung aufgrund des Laserstrahlschweißens von Werkstücken erläutert, worauf die Erfindung – wie voranstehend bereits ausgeführt – allerdings nicht beschränkt ist, sondern insbesondere auch statt eines Laserstrahls ein Elektronenstrahl zur Bearbeitung von Werkstücken eingesetzt werden kann, und sowohl mit Laserstrahl als auch mit Elektronenstrahl nicht nur geschweißt werden kann, sondern beispielsweise Werkstücke gehärtet, umgeschmolzen, legiert, usw. werden können.

Allgemein wird bei numerisch gesteuerten Werkzeugmaschinen, die heutzutage häufig eine speicherprogrammierbare Steuerung (SPS; im englischsprachigen Sprachraum einen PLC (Programmable Logic Controller)) aufweisen, üblicherweise aus Steuerdaten bei der numerischen Steuerung eine Verarbeitung zu Lagesollwerten für die einzelnen Achsen durchgeführt; diese Umwandlung der Steuerdaten in Lagesollwerte wird üblicherweise als Interpolation bezeichnet, bei welcher die Lagesollwerte in Form einer fein abgestuften Weg-Zeit-Funktion erzeugt werden.

Die Lagesollwerte jeder Achse werden mit dem jeweiligen Lageistwert verglichen, woraus sich gegebenenfalls eine Lageregelabweichung ergibt, aus welcher durch Multiplikation mit einem Faktor (der sogenannten Geschwindigkeitsverstärkung) eine Sollgeschwindigkeit gebildet wird.

Unterschiedliche Lagesollwerte der einzelnen Achsen führen zu Lageregelabweichungen, auch als Schleppabstand bezeichnet, und damit zu unterschiedlichen Geschwindigkeiten, die zum Fahren verschiedener Kurswinkel erforderlich sind.

Hierbei entsteht eine Bahn durch Überlagerung einzelner Achsen.

Die voranstehenden Ausführungen betreffen die normale Lageeinstellung der Achsen einer konventionellen Werkzeugmaschine, wobei üblicherweise zumindest eine X-, Y-, und Z-Achse (kartesisches Koordinatensystem) und häufig eine C-Achse (Drehachse) vorgesehen sind und weitere, etwa weitere Drehachsen vorgesehen sein können. Wie eingangs erwähnt wurde bisher bei einer Werkzeugmaschine

eine Steuerung der Achsen für den Vorschub der Werkzeugmaschine vorgenommen (für die Werkzeug- oder Werkstückbewegung), und erfolgte getrennt eine von verschiedenen Zeiten abhängige, zeitliche Steuerung der Leistung einer zur Bearbeitung eines Werkzeugs eingesetzten Strahlquelle, beispielsweise eines Laserstrahls oder eines Elektronenstrahls.

Dieser Stand der Technik ist schematisch als Blockschaltbild in Fig. 2 dargestellt. Eine numerische Steuerung (CNC oder NC) gibt (für eine Achse; zur Vereinfachung ist in Fig. 2 nur eine von grundsätzlich mehreren Achsen dargestellt) einen Weg-Sollwert an einen Verstärker aus, dessen Ausgangssignal auf den Antrieb, beispielsweise einen Schrittmotor, der Werkzeugmaschine für eine Achse gegeben wird, und mit einem Meßsystem wird die Bewegung in der entsprechenden Achse verfolgt und ein entsprechender Weg-Istwert zur CNC zurückgekoppelt. Zur Betätigung eines Lasers gibt die CNC eine entsprechende Information (sogenannte M-Funktion; Maschinenfunktion) an eine speicherprogrammierbare Steuerung SPS aus, und diese einen entsprechenden Befehl (Information) an die Steuerung eines Lasers.

Es wird daher beispielsweise ein Startsignal für den Laser in dem in der CNC ablaufenden NC-Programm gesetzt, und dieses Startsignal wird an die SPS weitergeleitet, und von dort zur Lasersteuerung. Die Verarbeitung in der SPS erfolgt mit Mikroprozessoren, oder auch mit Relais, etwa wenn Sicherheitssignale geschaltet werden. Bei Mikroprozessoren und Relais treten Schaltzeiten auf, die beispielsweise 10 bis 100 ms betragen können. Die Mikroprozessoren haben Zykluszeiten, die ebenfalls zu einer Zeitverzögerung führen, und unterschiedliche, von der CNC vorgegebene Befehle können zur Verarbeitung in der SPS eine unterschiedliche Anzahl an Zyklen erfordern. Dadurch wird die Synchronisation des Lasers als Werkzeug mit der durch Überlagerung von Achsenbewegungen erzeugten Bahn der Werkzeugmaschine gestört. Nimmt man etwa eine Bearbeitungsgeschwindigkeit einer Werkzeugmaschine von 30 m pro Minute an, so entspricht dies 0,5 mm pro Millisekunde; dieses Beispiel verdeutlicht, welche hohe Genauigkeit für die Laserbearbeitung wünschenswert wäre. Wie voranstehend ausgeführt ist wegen der zeitversetzten Steuerung der Laserleistung bei dem in Fig. 2 dargestellten Stand der Technik eine derartige Genauigkeit nicht erzielbar.

Die vorliegende Erfindung beruht nun darauf, daß die Leistung des Strahls (Laserstrahl oder Elektronenstrahl) nicht mehr zeitabhängig, sondern in Abhängigkeit von der Position auf einer vorgegebenen Bahn gesteuert wird.

Damit wird eine synchron zur Bahn, also zum Vorschub der Werkzeugmaschine erfolgende Interpolation der Strahlleistung ermöglicht, wodurch erreicht werden kann, daß ein definierter Strahlleistungsverlauf während der verschiedenen Phasen des Bearbeitungsvorgangs des Werkstücks erzielt wird.

Ebenso lassen sich weitere Funktionen durch Einführung zusätzlicher Achsen und positionsabhängige Steuerung der jeweiligen Funktion bereitstellen, etwa ein synchronisierter Drahtvorschub eines Zusatzdrahts beim Schweißen mit Zusatzdraht in Abhängigkeit von der Position auf der vorgegebenen Bahn des Strahls, oder die synchronisierte Zufuhr von Schweißpulver in entsprechender Art und Weise.

Wird mit einem Laserstrahl gearbeitet, so kann die Ausgangsleistung des Lasers, also die Ausgangsleistung des Laserstrahls, entweder dadurch gesteuert werden, daß die Eingangsleistung des Lasers gesteuert wird, oder aber die Ausgangsleistung des Lasers, wobei die effektiv auf das Werkstück einwirkende Laserausgangsleistung und/oder die Bearbeitungsfläche durch Steuern der Drehzahl eines Dreh-

spiegels, der zwischen Laser und Werkstück angeordnet ist, oder durch Steuern der Frequenz oder Amplitude eines zwischen Laser und Werkstück angeordneten Schwingspiegels gesteuert wird.

Das Grundprinzip der vorliegenden Erfindung ist in dem schematisch vereinfachten Blockschaltbild der Fig. 1 dargestellt.

Wie bei dem in Fig. 2 dargestellten Stand der Technik erzeugt eine CNC für eine Achse einen Weg-Sollwert, der über einen Verstärker auf einen Antrieb der Werkzeugmaschine gegeben wird, und ein Meßsystem für den Weg erzeugt einen entsprechenden Weg-Istwert, der wieder auf die CNC rückgekoppelt wird.

Anders als beim Stand der Technik gemäß Fig. 2 wird bei der in Fig. 1 dargestellten, erfindungsgemäßen Werkzeugmaschine aus einem Weg-Sollwert (für eine Achse) oder aus mehreren Weg-Sollwerten (für mehrere Achsen) ein Bahn-Sollwert berechnet und einer schematisch durch "Laserleistung" bezeichneten Einheit zugeführt, welche eine fiktive Interpolationsachse für die Leistung, nämlich die Laserleistung darstellt.

Während daher die CNC für jede der Achsen Weg-Sollwerte jeweils als Weg-Zeit-Funktion durch einen Interpolator erzeugt, werden gemäß der vorliegenden Erfindung Leistungs-Sollwerte für den Laser als Leistungs-Bahnsollwert-Funktion durch einen entsprechenden Interpolator erzeugt. Die Interpolationsachse wird deswegen als fiktive Interpolationsachse bezeichnet, da der CNC nicht ein Leistungs-Istwert zugeführt wird, sondern wie in Fig. 1 angegeben der Leistungs-Sollwert. Anderenfalls würde nämlich die CNC, wenn die Leistungsregelung nicht nachkommt, dies durch Regelung der Bahn-Sollwerte zu kompensieren versuchen, was natürlich nicht erwünscht ist.

Wie in Fig. 1 gezeigt wird von der Laserleistungssteuerung ein Leistungs-Sollwert an den Laser abgegeben, der daher bahnabhängig in seiner Leistung gesteuert wird. Die Überwachung des Lasers erfolgt dadurch, daß die Laserleistung gemessen wird, und ein entsprechender Leistungs-Istwert der SPS zugeführt wird, die ebenfalls die Leistungs-Sollwerte von der Laserleistungssteuerung erhält und vergleicht, ob Soll- und Istwert genügend gut übereinstimmen, und im Fehlerfall gegebenenfalls ein entsprechendes Abhaltesignal für den Laser an die CNC schickt.

Ein typischer Bearbeitungsvorgang, nämlich Laserstrahlschweißen unter optimierten Bedingungen, ist in Fig. 3 dargestellt.

In der oberen Hälfte der Fig. 3 ist schematisch der Werkzeugmaschinenvorschub dargestellt, dagegen in der unteren Hälfte der Figur die Ausgangsleistung eines Lasers.

Hierbei ist die Geschwindigkeit  $v$  in Prozent eines willkürlichen Nominalwertes von 100% angegeben, und entsprechend die Laserausgangsleistung  $P$  in Prozent eines willkürlichen Nominalwertes von 100%. Weiterhin ist in der Figur der zeitliche Ablauf anhand einer Achse verdeutlicht, auf welcher die Zeit  $t$  aufgetragen ist; dies dient jedoch nur zur Erleichterung der Beschreibung, da wie voranstehend ausgeführt und in den Patentansprüchen angegeben der Vorschub der Werkzeugmaschine ohnehin positionsabhängig erfolgt, und gemäß der vorliegenden Erfindung die Ausgangsleistung des Lasers ebenfalls abhängig von der vom Laserstrahl abgefahrenen Bahn, also positionsabhängig erfolgt, und zwar in Echtzeit mit der Bahn synchronisiert, d. h. ohne Zeitverzögerung.

Weiterhin sind in der Figur verschiedene Phasen (1) bis (7) des Bearbeitungsvorgangs angegeben, wobei senkrechte gepunktete Linien verdeutlichen, wie die Vorschubsteuerung oben in der Figur mit der unten in der Figur dargestellten Laserleistungssteuerung zusammenhängt und mit dieser

synchronisiert ist.

In einer ersten Phase (1) wird ein Verschluß des Lasers geöffnet, der dazu dient, im Stillstand der Werkzeugmaschine zu verhindern, daß der Laser einen Strahl aus sendet und etwa das Bedienungspersonal gefährdet, wenn beispielsweise gerade ein Werkstück eingespannt wird. Der Laser ist nunmehr bereit, einen Laserstrahl auszusenden. In der Phase (1) ist jedoch die Laserleistung noch auf dem Wert 0% (keine Strahlabgabe des Lasers), und die Vorschubgeschwindigkeit wird im Zeitraum vom Zeitpunkt  $t=10$  (willkürliche Zeiteinheiten) bis zum Zeitpunkt  $t=15$  von 0 auf den Maximalwert 100% gefahren. Zum Zeitpunkt  $t=15$  hat die Vorschubgeschwindigkeit den Nominalwert 100% erreicht, und wird durch lineare Interpolation die Laserleistung rampenförmig auf einen ersten Wert gefahren (etwa 37% in der Figur), der zum Zeitpunkt  $t=20$  erreicht ist. Damit ist die Phase (2) beendet und beginnt die Phase (3), in welcher die Vorschubgeschwindigkeit konstant bleibt, und die Laserleistung auf dem Wert von etwa 37% konstant bleibt. Hierbei erfolgt ein Zusammenheften der beiden zu verschweißenden Werkstücke.

Zum Zeitpunkt  $t=45$  ist die Phase (3) abgeschlossen, und beginnt die Phase (4), die bis zum Zeitpunkt  $t=50$  andauert. In der Phase (4) wird die Vorschubgeschwindigkeit rampenförmig von 100% auf ca. 60% heruntergefahren, und gleichzeitig die Laserausgangsleistung von den bisherigen ca. 37% auf ca. 70% erhöht. Dies stellt eine Übergangsphase beim Übergang vom Heften zur Erzeugung der eigentlichen Schweißnaht dar.

In der darauffolgenden Phase (5), die von dem Zeitpunkt  $t=50$  bis zum Zeitpunkt  $t=70$  dauert, bleibt die Vorschubgeschwindigkeit konstant auf dem Wert von 60%, jedoch wird die Laserausgangsleistung linear von ca. 70% auf ca. 63% abgesenkt, was ebenfalls über die Bahninterpolation erfolgt und dazu dient, eine Schweißnaht konstanter Güte und Schweißtiefe unter Berücksichtigung der durch das Laserschweißen auftretenden Erwärmung der beiden zu verschweißenden Werkstücke zu erzielen, z. B. bei Rundnähten an Rotationswerkstücken.

Daran schließt sich, beginnend zum Zeitpunkt  $t=70$  und endend bei  $t=80$ , eine Phase (6) an, in welcher die Vorschubgeschwindigkeit auf dem bisherigen, konstanten Wert gehalten wird, jedoch die Laserausgangsleistung  $P$  rampenförmig von dem Endwert von ca. 63% der Phase (5) auf 0% abgesenkt wird, die zum Zeitpunkt  $t=80$  erreicht werden. Hiermit wird das Auftreten eines sogenannten Endkraters am Ende der Schweißnaht vermieden.

In der letzten Phase (7), die von  $t=80$  bis  $t=85$  reicht, bleibt die Laserausgangsleistung auf dem Wert von 0%, wogegen die Geschwindigkeit  $v$  rampenförmig von dem Wert von 60% der vorangehenden Phasen (5) und (6) linear auf 0% abgesenkt wird. Damit ist der Schweißvorgang beendet, der Verschluß wird geschlossen.

Die erfindungsgemäße Vorgehensweise, bei welcher eine hervorragende Synchronisation zwischen Vorschub und Laserleistung erzielt wird, ist besonders vorteilhaft bei stückweise erfolgenden Bearbeitungsvorgängen, beispielsweise bei Steppnähten oder unterbrochenen Nahtschweißungen (die beispielsweise Öltaschen enthalten sollen), da hier nach dem Stand der Technik bei jedem Teilstück Fehler auftreten könnten, nämlich jeweils am Anfang und Ende eines Bearbeitungsstückes.

#### Patentansprüche

1. Verfahren zur numerischen Steuerung einer mit variabler Strahlleistung arbeitenden Werkzeugmaschine zur Strahlbearbeitung, insbesondere zum Laserstrahl-

schweißen von Werkstücken, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Strahlleistung ( $P$ ) als fiktive Interpolationsachse in Abhängigkeit von der Position auf einer vorgegebenen Bahn des Strahls gesteuert wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß als Interpolationsachse eine Bahnachse vorgegeben wird und auf dieser eine lineare Interpolation erfolgt, bei welcher aus Steuerdaten für die Strahlleistung Sollwerte für die Strahlleistung entlang der Bahnachse berechnet werden.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß während eines Schweißvorgangs die Strahlleistung unter Berücksichtigung der Erwärmung des Werkstücks beim Strahlschweißen abgesenkt wird.

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß zu Beginn eines Schweißvorgangs die Strahlleistung rampenförmig erhöht wird.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß gegen Ende eines Schweißvorgangs die Strahlleistung rampenförmig abgesenkt wird.

6. Verfahren nach Anspruch 4 oder 5, dadurch gekennzeichnet, daß zu Beginn eines Schweißvorgangs die Strahlleistung von einem Startwert  $\leq 1$  aus erhöht wird, bis zu einem Maximalwert, der zu Beginn der Bahn der Beschleunigung angepaßt ist.

7. Verfahren nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Strahlleistung im Verlauf der Bearbeitung stetig verringert wird, um eine definierte Schweißtiefe beizubehalten.

8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß eine weitere fiktive Interpolationsachse vorgegeben wird, durch welche der Drahtvorschub eines Zusatzdrahts beim Schweißen mit Zusatzdraht in Abhängigkeit von der Position auf der vorgegebenen Bahn des Strahls gesteuert wird.

9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß eine weitere fiktive Interpolationsachse vorgegeben wird, durch welche die Zufuhr von Schweißpulver in Abhängigkeit von der Position auf der vorgegebenen Bahn des Strahls gesteuert wird.

10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß eine weitere fiktive Interpolationsachse vorgegeben wird, durch welche die Drehzahl eines Drehspiegels oder die Frequenz oder Amplitude eines Schwingspiegels in Abhängigkeit von der Position auf der vorgegebenen Bahn des Strahls gesteuert wird.

11. Numerisch gesteuerte Werkzeugmaschine zur Strahlbearbeitung von Werkstücken, welche aufweist:

- a) eine numerische Steuerung; und
- b) eine Strahlquelle mit variabler Leistung;
- c) wobei die numerische Steuerung die Leistung der Strahlquelle in Abhängigkeit von der Position des Strahls auf einer vorgegebenen Bahn steuert.

12. Werkzeugmaschine nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, daß der numerischen Steuerung ein Sollwert für die Strahlleistung zugeführt wird.

13. Werkzeugmaschine nach Anspruch 11 oder 12, dadurch gekennzeichnet, daß die numerische Steuerung eine speicherprogrammierbare Steuerung aufweist, welche Sollwert und Istwert der Strahlleistung vergleicht.

14. Werkzeugmaschine nach einem der Ansprüche 11 bis 13, dadurch gekennzeichnet, daß eine Dreh- oder Schwingspiegeloptik vorgesehen ist, deren Drehzahl bzw. Schwingamplitude oder -frequenz in Abhängig-

keit von der Position des Strahls auf der vorgegebenen Bahn gesteuert wird.

15. Werkzeugmaschine nach einem der Ansprüche 11 bis 14, dadurch gekennzeichnet, daß eine Einrichtung zur dynamischen, bahnabhängigen Anpassung der optischen Abbildung des Strahls auf das Werkstück, beispielsweise des Brennflecks oder Fokussierungspunktes, vorgesehen ist. 5

16. Werkzeugmaschine nach einem der Ansprüche 11 bis 15, dadurch gekennzeichnet, daß die Strahlquelle ein Laser oder eine Elektronenstrahlquelle ist. 10

---

Hierzu 2 Seite(n) Zeichnungen

---

15

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

Fig. 1

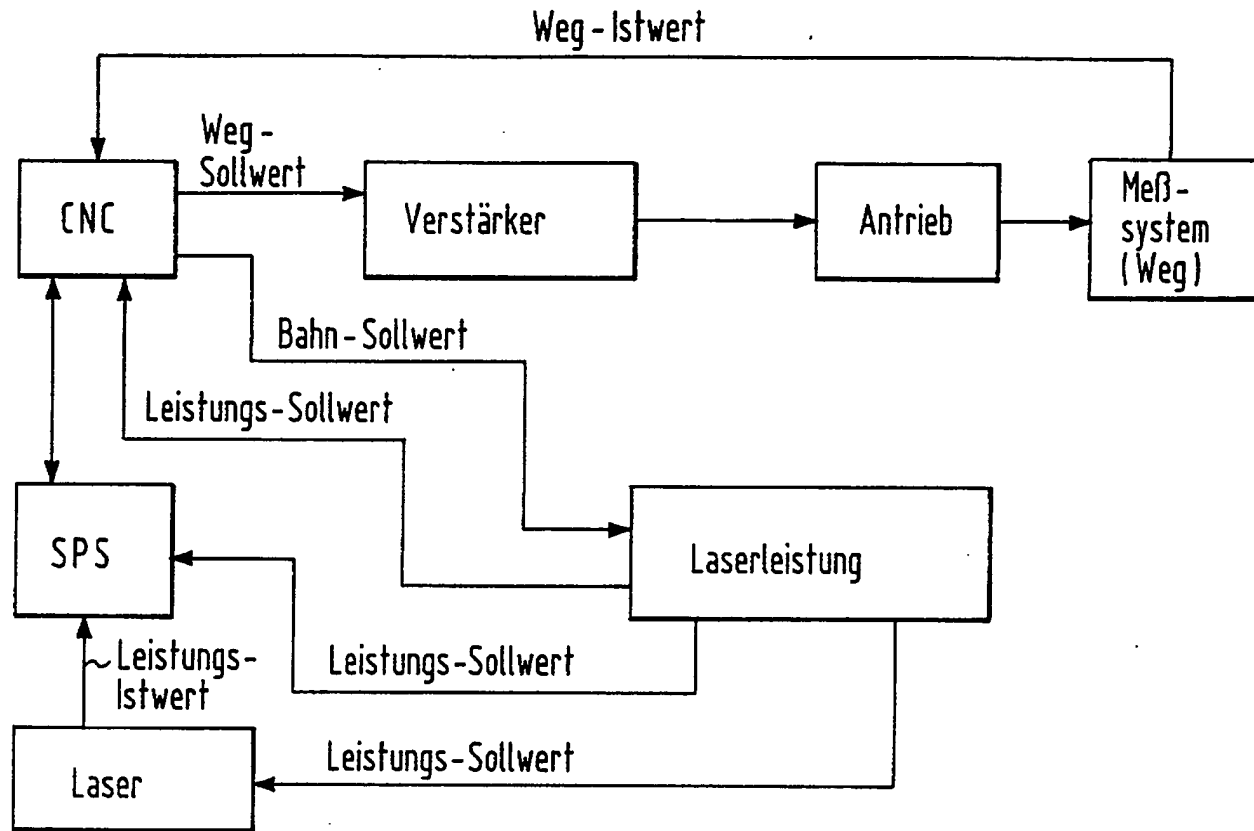


Fig. 2

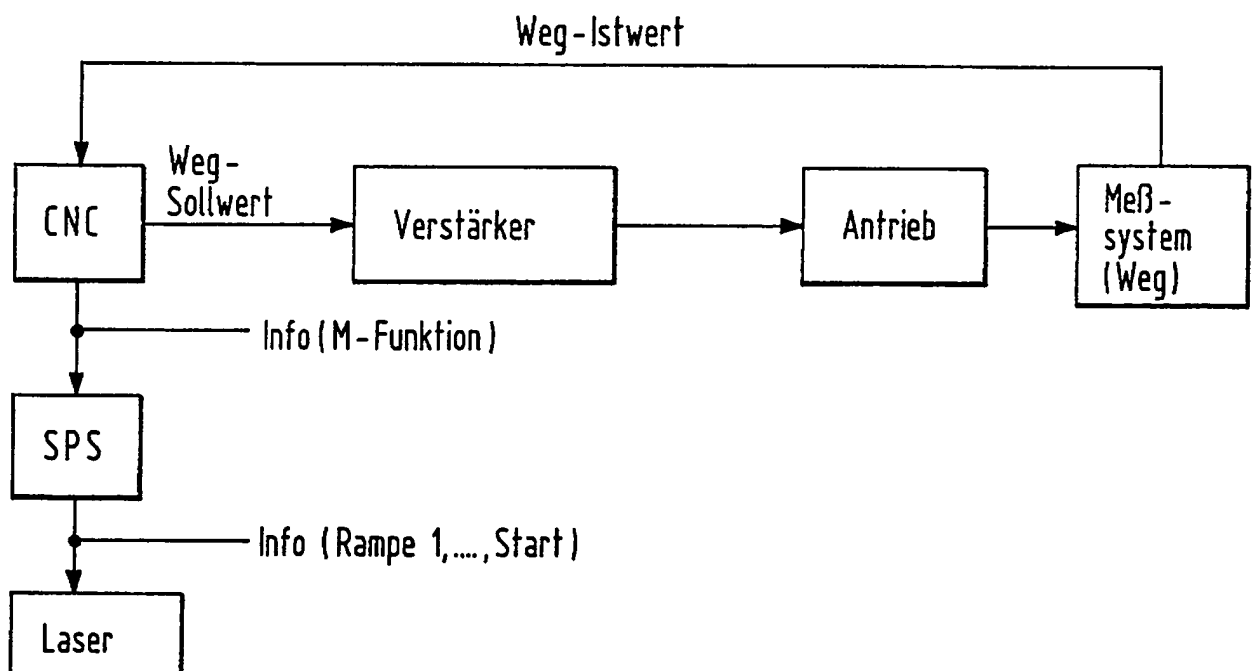


Fig. 3

